



Amendoeira Estado da Produção

FRUTOS SECOS: DA PRODUÇÃO À COMERCIALIZAÇÃO

EDITADO CNLFs

Projeto “Portugal Nuts” Norte-02-0853-FEDER-000004
Centro Nacional de Competências dos Frutos Secos

FICHA TÉCNICA

Título: Amendoeira: Estado da Produção

Coordenador Científico: M. Ângelo Rodrigues

Capa: CNCFS

Tiragem:

Impressão:

ISBN: 978-989-99857-9-7

Capítulo 7 – Fertilização

Margarida Arrobas, M. Ângelo Rodrigues

7.1. Introdução

A fertilização tem por objetivo fornecer às plantas nutrientes que não se encontrem no solo em quantidades satisfatórias para que a cultura atinja o nível de produção desejado. Pode também destinar-se a corrigir propriedades físicas, químicas e/ou biológicas que de alguma forma limitem o desempenho das culturas.

Antes de se proceder à aplicação de fertilizantes deve tentar comprovar-se através da análise de terras, de tecidos vegetais ou outros métodos de diagnóstico quais os nutrientes em falta e/ou que propriedades do solo podem estar a comprometer o desempenho das plantas. Estes métodos, ainda que com limitações, devem também ser usados para auxiliar no estabelecimento de programas de fertilização que quantifiquem as doses a aplicarem.

A fertilização é uma prática sobre a qual não restam dúvidas poder aumentar a produtividade das árvores e reduzir a alternância anual das produções. Neste capítulo, faz-se um breve resumo da importância dos nutrientes para as plantas, das técnicas de

diagnóstico da fertilidade do solo e do estado nutricional das árvores e ainda de estratégias de gestão da fertilidade do solo e da aplicação de fertilizantes em amendoal.

7.2. Nutrientes essenciais

As plantas podem conter nos seus tecidos uma grande diversidade de elementos. Parte deles são essenciais ao seu crescimento, outros podem exercer efeitos benéficos, mas muitos não têm funções benéficas conhecidas nas plantas. No presente consideram-se ser pelo menos dezasseis os elementos essenciais a todas as plantas superiores. Os elementos essenciais têm uma função específica nas plantas e o seu papel não pode ser integralmente substituído por qualquer outro elemento. Na ausência de um dos dezasseis elementos essenciais a planta não completa o seu ciclo biológico. Os dezasseis elementos para os quais está cientificamente demonstrada a essencialidade em todas as plantas superiores são carbono (C), oxigénio (O), hidrogénio (H), azoto (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn), molibdénio (Mo), boro (B) e cloro (Cl).

Os elementos mais abundantes nos tecidos vegetais são carbono, oxigénio e hidrogénio que podem ultrapassar em massa mais de 95% da matéria seca (Mia, 2015). Estes elementos estão disponíveis para as plantas no dióxido de carbono (CO₂) e na água existentes na atmosfera e no solo. Por existirem na natureza em

quantidades consideradas suficientes para o desenvolvimento das plantas, não são tidos em conta nos programas de fertilização das culturas que se desenvolvem ao ar livre. Em estufa, contudo, é frequente enriquecer-se a atmosfera em CO₂ para melhorar o desempenho das plantas. Os restantes nutrientes essenciais estão disponíveis para as plantas sobretudo a partir do solo, embora em alguns casos a atmosfera possa ainda dar um importante contributo.

Excluídos carbono, oxigénio e hidrogénio, os restantes nutrientes essenciais são habitualmente divididos em dois grupos, tendo em conta a concentração nos tecidos vegetais: macronutrientes (azoto, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre); e micronutrientes (ferro, zinco, manganês, cobre, molibdénio, boro e cloro), os primeiros necessários em quantidades mais elevadas e os segundos em quantidades mais reduzidas (Jones, 2012). Os macronutrientes podem ainda ser divididos em dois subgrupos: macronutrientes principais (azoto, fósforo e potássio), que frequentemente não se encontram no solo em quantidade suficiente para as plantas, sendo regularmente aplicados como fertilizantes; e macronutrientes secundários (cálcio, magnésio e enxofre), em que normalmente a sua disponibilidade no meio é suficiente ao normal desenvolvimento das plantas (Santos, 2015). Os macronutrientes secundários acompanham frequentemente os macronutrientes principais na formulação química de adubos (por exemplo, os superfosfatos contêm cálcio e enxofre; o nitromagnésio contém cálcio e magnésio...), o que faz com que

estes elementos sejam regularmente aplicados sem haver uma estratégia de aplicação dirigida a eles próprios.

O solo assegura, por si só, grande parte dos nutrientes de que as árvores necessitam. No entanto, a exportação continuada de nutrientes na amêndoa e na lenha de poda, obriga à reposição regular de alguns deles na forma de fertilizantes. Em Trás-os-Montes azoto, boro, potássio, fósforo e também cálcio e magnésio afiguram-se como os nutrientes que se recomendam com maior frequência, devido à limitação natural destes elementos no solo e/ou a exportação significativa dos elementos pela cultura. No sul do país, em solos calcários de pH elevado, podem surgir problemas com limitação de ferro.

Todos os elementos essenciais têm papéis específicos na planta. Contudo, uns entram na composição da planta em maior concentração que outros. Devido à abundância relativa no meio, uns são problema habitual na prática de fertilização e outros não merecem atenção especial. De seguida apresentam-se notas suplementares sobre os dezasseis elementos considerados essenciais para todas as plantas superiores.

Carbono, oxigénio e hidrogénio são elementos que se combinam durante o processo fotossintético para formar vários tipos de compostos orgânicos dos quais são exemplo hidratos de carbono, proteínas, lípidos e ácidos nucleicos, constituindo estes compostos cerca de 95% da matéria seca vegetal (Singer e Munns, 2002). Como se referiu, não são tidos em conta nos

programas de fertilização de culturas ao ar livre por estarem disponíveis no meio.

O **azoto** é, de entre os elementos essenciais, aquele que normalmente é absorvido em quantidades mais elevadas. De uma maneira geral, é o elemento que mais limita o crescimento e produção das culturas em ecossistemas naturais e agrícolas. Na planta integra a molécula de clorofila, que converte a energia solar em energia química através do processo da *fotossíntese*. É também componente de outras biomoléculas como aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos. Entra na composição de vitaminas e enzimas, tendo um papel fundamental em todas as atividades metabólicas da planta (Mills e Jones, 1996; Osman, 2013). A sua deficiência manifesta-se por um amarelecimento das folhas e, por se tratar de um elemento móvel na planta, a clorose começa nas folhas mais velhas. Quando a deficiência é severa provoca queda prematura das folhas, mantendo-se ativas apenas as partes mais jovens da árvore, para onde é translocado o azoto contido nas folhas mais velhas. Em amendoal não restam dúvidas que a aplicação de azoto aumenta a produtividade (Saa *et al.*, 2014; Zarate-Valdez *et al.*, 2015). Se o azoto estiver em excesso no solo, as árvores podem absorver quantidades elevadas, originando desequilíbrios nutritivos com os outros elementos. Nesta situação, as culturas ficam mais vulneráveis stresses ambientais (térmico, hídrico, ...) e à ação de pragas e doenças (Santos, 2015). Em amendoal foi demonstrado que doses excessivas de azoto agravaram problemas de podridão-parda (*Monilinia fructicola*) e

podridão-mole (*Rhizopus stolonifer*) da amêndoa (Saa *et al.*, 2016).

O **fósforo** tem papel importante no armazenamento e transferência de energia nas células. A energia produzida no processo fotossintético e resultante do metabolismo dos hidratos de carbono é armazenada em compostos fosfatados e posteriormente utilizada nos processos de crescimento e reprodução (Havlin *et al.*, 2014). O fósforo é também um componente essencial dos ácidos nucleicos, compostos que contêm o código genético das plantas para produzir proteínas e outros compostos vitais à planta. A disponibilidade de fósforo promove o desenvolvimento do sistema radicular (Santos, 2015), aspecto bastante relevante para a adaptação das culturas a um regime de sequeiro, como ocorre no amendoal tradicional da maior parte do território nacional. Um sistema radicular bem desenvolvido permite à planta utilizar água que se encontre disponível a maior profundidade. Apesar da análise foliar revelar, por vezes, níveis baixos de fósforo, não é conhecida a expressão visual da deficiência deste nutriente em amendoeira. Por outro lado, não existem estudos que demonstrem inequivocamente uma reposta da amendoeira à aplicação de fósforo. Bhadoria *et al.* (2002) mostraram que teores de fósforo nos tecidos abaixo do nível de suficiência poderão estar relacionados com o pH do solo. Situações de acidez acentuada podem resultar numa reduzida disponibilidade do nutriente, devido a prováveis fenómenos de precipitação do elemento com alumínio, ferro e/ou manganês.

Valores de pH elevados, com presença de carbonatos no solo, podem também induzir insolubilização de fósforo (Santos, 2015). O **potássio** é um nutriente normalmente associado à regulação da abertura e fecho dos estomas, função importante para a entrada de CO₂ na planta e para a atividade fotossintética (Mills e Jones, 1996). Basile *et al.* (2003) mostraram que a deficiência em potássio afeta a intercepção da radiação e reduz a taxa fotossintética, sendo a limitação pela via bioquímica ainda mais importante que a limitação pela condutância estomática. A regulação da abertura e fecho dos estomas também permite algum controle na perda de água por transpiração, aspecto benéfico na manutenção da turgidez celular e na resistência das plantas à seca (Havlin *et al.*, 2014). O potássio está também associado ao transporte de produtos da fotossíntese na planta, tendo um papel fundamental nas plantas durante a fase de engrossamento dos frutos. Plantas bem providas de potássio são também mais tolerantes a stresse hídrico e ao ataque de pragas e doenças (Santos, 2015). A deficiência de potássio é relativamente frequente e manifesta-se por necrose das extremidades das folhas, culminando em frutos de pequenas dimensões e produção reduzida. Riedel *et al.* (2004) mostraram que quando se detetam níveis baixos do nutriente nas folhas num determinado ano, o efeito da deficiência só se reflete na produção do ano seguinte, sendo por isso necessária atenção regular ao estado nutritivo das plantas.

O **cálcio** é um elemento importante para a integridade das membranas celulares exercendo um efeito estabilizador de toda a estrutura da planta. Diz-se que o elemento atua como uma espécie de cimento entre as células (Mills e Jones, 1996). O cálcio está envolvido no processo de crescimento dos tecidos, através do alongamento e divisão celulares e a sua deficiência acelera a senescência das folhas (Mengel *et al.*, 2001). Pode ser absorvido em quantidades elevadas, inclusive superiores ao potássio. No caso da amendoeira, o miolo é particularmente rico em cálcio. Por se tratar de um nutriente de reduzida mobilidade na planta, a deficiência manifesta-se pela morte das extremidades dos ramos jovens. Dado o carácter ácido da maioria dos solos portugueses, em especial dos solos de Trás-os-Montes, as condições são favoráveis à ocorrência de deficiência do nutriente. Se o problema for detetado, pode recorrer-se à incorporação de calcários para ultrapassar a situação.

O **magnésio** faz parte da clorofila, sendo o átomo central desta importante molécula orgânica. É um nutriente que também está associado à atividade de enzimas envolvidas no metabolismo dos hidratos de carbono. Estando fortemente ligado ao processo de transferência de energia na fotossíntese e respiração, o magnésio é fundamental em todo o metabolismo da planta (Mengel *et al.*, 2001; Mills e Jones, 1996). Deficiência de magnésio nas plantas é provável que ocorra em solos ácidos. Normalmente manifesta-se por amarelecimento das folhas entre as nervuras e surge em primeiro lugar nas folhas mais velhas (Havlin *et al.*, 2014). Sempre

que seja necessário proceder à correção da acidez do solo, a opção por calcários magnesianos ajuda a ultrapassar também os problemas com a carência de magnésio.

O **enxofre** está presente nas plantas como constituinte de numerosas moléculas orgânicas, sendo também importante no funcionamento de diversos sistemas enzimáticos. O enxofre existe normalmente no solo em quantidades suficientes para satisfazer as necessidades das plantas. As plantas podem ainda aceder a elevadas quantidades de enxofre (potencialmente até em quantidades excessivas) a partir da atmosfera (Varennnes, 2003). Apesar de ser frequente a aplicação de enxofre em numerosas culturas herbáceas, onde o elemento se aplica na forma de caldas foliares, não é expectável que seja um problema nutricional em pomares de amendoeira.

O **boro** é um elemento estrutural da parede celular (Wimmer e Eichert, 2013). É frequentemente associado à germinação dos grãos de pólen e ao desenvolvimento e estabilidade do tubo polínico tendo, por isso, papel relevante na floração e vingamento dos frutos, entre muitos outros processos fisiológicos fundamentais ao bom desenvolvimento das plantas, como divisão e diferenciação celular e respiração (Nyomora e Brown, 1999; Jones, 2012). A carência de boro pode dificultar a absorção de água por inibição do crescimento das raízes e dos caules. A destruição estrutural do sistema vascular da planta pode limitar o transporte de água para a parte aérea e causar danos diversos nas plantas (Wimmer e Eichert, 2013). A carência de boro é um

problema generalizado à escala global. Na amendoeira, a carência de boro está identificada na Califórnia desde 1957 (Hansen *et al.*, 1962), e está igualmente identificada na bacia mediterrânica e em várias outras partes do mundo (Alloway, 2008). Nas folhas, a deficiência manifesta-se por clorose que evolui para necrose nas extremidades das folhas. Nos frutos podem aparecer pequenas bolhas gumosas que se estendem para o miolo, acabando por não permitir o seu adequado desenvolvimento, formando-se mesmo frutos partenocárpicos (Hansen *et al.*, 1962). As situações favoráveis à deficiência de boro estão associadas sobretudo a solos de reação alcalina, solos ácidos, solos de textura ligeira e em períodos de elevada precipitação ou regas abundantes (Monteiro *et al.*, 2003). A aplicação excessiva deste nutriente pode manifestar-se por exsudação de substâncias gumosas nas feridas da poda ou nos gomos que dão origem a novos ramos (Doll, 2014). **Ferro, manganês, zinco e cobre** são elementos essenciais e por isso igualmente importantes para o desenvolvimento das plantas. Estes elementos estão normalmente associados a fenómenos de transferência de eletrões em reações de oxidação-redução e à ativação de enzimas (Mills e Jones, 1996). Alguns destes nutrientes são aplicados por via foliar na forma de caldas nos tratamentos fitossanitários. Como regra geral, não se espera ser necessário tê-los em conta nos programas de fertilização. Solos de reação próxima da neutralidade devem assegurar quantidades adequadas destes nutrientes. A clorose férrica é um problema nutricional importante em diversas culturas e vastas regiões do

globo, incluindo em amendoal instalado em solos calcários de pH elevado. Quando uma situação de clorose férrica ocorre, embora o problema seja difícil de solucionar, podem aplicar-se quelatos de ferro ao solo para mitigar o problema. Fernández-Escobar (2008) propuseram um método para o olival do sul de Espanha supostamente mais eficiente que consiste em injetar uma solução de ferro diretamente no tronco da árvore.

O **molibdénio** está presente na planta na estrutura de algumas enzimas envolvidas em reações redox, em que o elemento participa variando o seu número de oxidação (Varennnes, 2003). Deficiências de molibdénio não são frequentes mas podem ocorrer em solos ácidos, em solos de textura arenosa e pobres em matéria orgânica. Não é um problema habitual dos programas de fertilização. A correção da acidez do solo deve ser suficiente para evitar este problema.

O **cloro** está presente em alguns compostos orgânicos e está envolvido na ativação de alguns sistemas enzimáticos (Varennnes, 2003). O cloro é um elemento muito abundante na natureza, não sendo espectável que possa ocorrer deficiência pelo menos no território nacional. Em agricultura é mais provável que o cloro seja um problema por excesso que por defeito. Junto ao litoral, onde o elemento é mais abundante, em regiões áridas e semiáridas, de balanço hidrológico anual deficiente, e em agricultura de regadio, em que ocorre elevada entrada de sais nos fertilizantes e água de rega, podem surgir situações de elevada salinização dos solos, também com o contributo de sódio e outros sais, que dificultem o

desenvolvimento das culturas. Pode ocorrer toxicidade iónica nas folhas mais velhas e défice de água e de hidratos de carbono nas folhas mais jovens (Broadley *et al.*, 2012).

7.3. Diagnóstico da fertilidade do solo e do estado nutricional das culturas

O diagnóstico do estado nutricional do amendoal deve começar pela observação regular do aspeto geral das árvores e pela tentativa de identificação de alguma situação atípica na forma e cor dos tecidos vegetais. De forma preventiva, ou após observação de anomalias no desenvolvimento das plantas, deve proceder-se a técnicas analíticas de avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional das plantas. Na agricultura atual não deveriam ocorrer sintomas visíveis de carência ou toxicidade de nutrientes. Quando isso acontece significa que se estão a cometer erros grosseiros no programa de fertilização anual. Um sintoma visível só surge quando a planta está em stresse nutritivo profundo, aspeto que deveria ter sido antecipado pela análise de terras e/ou pela análise de tecidos vegetais (Havlin *et al.*, 2014). Em pomares como o amendoal, o acompanhamento do nível de fertilidade do solo e do estado nutricional das árvores através de análises ao solo e às folhas, bem como a aplicação de fertilizantes devem ser prática regular, como forma de manter o pomar em bom estado nutritivo e assegurar produções regulares.

A qualidade dos diagnósticos e, por último, da intervenção de fertilização começa no momento da recolha das amostras, uma vez que estas devem representar o solo de uma parcela ou as árvores de todo um pomar (Jones, 2012). É necessário ter em conta que todo o processo deve ser padronizado. Com erros no processo de amostragem os laboratórios não poderão nunca fazer bons diagnósticos.

7.3.1. Análise de terras

O processo de análise ao solo inicia-se com a recolha da amostra de uma determinada área, esperando-se que os resultados analíticos obtidos representem toda a parcela. A colheita de amostras de terras para análise deve iniciar-se com o estabelecimento de zonas homogéneas na parcela, no que diz respeito a topografia, aspeto do solo, tamanho das árvores e desenvolvimento da vegetação herbácea (Jones, 2012). O número de amostras a recolher deve ser ajustado ao tamanho da parcela e à sua uniformidade (James e Wells, 1990). Dentro de cada zona homogénea deve proceder-se à colheita de cerca de 15 subamostras parciais, percorrendo o solo em zig-zag, que servirão para formar uma amostra compósita representativa da parcela. Estas subamostras devem ser colocadas num recipiente e no final devem ser devidamente misturadas para, a partir desta mistura, se retirar cerca de 1 kg de solo. Este procedimento é aconselhado para amostrar o solo antes da instalação da cultura e nos primeiros

anos antes da entrada do pomar em produção. Com árvores adultas, pode ser vantajoso proceder à marcação, de forma mais ou menos permanente, de cerca de 15 árvores representativas do estado de desenvolvimento do pomar sendo o solo colhido próximo das árvores marcadas. Este procedimento diminui a variabilidade natural associada às próprias árvores e ao solo e torna mais fácil a interpretação dos resultados das análises aos solos (Jones, 2012). Quando se faz fertirrigação, o risco de uma má amostragem aumenta, uma vez que o bolbo de humedecimento tende a ser reduzido em comparação com a área total de solo explorada pelas raízes. Nestas circunstâncias pode ser de equacionar colher amostras separadas junto aos gotejadores e na zona não atingida pela água de rega.

Em amendoais em produção, em que se proceda à fertilização localizada debaixo da copa, a fertilidade do solo torna-se distinta na área sob a copa e no espaço da entrelinha. Assim, se a fertilização nos anos anteriores foi efetuada sob a área de influência da copa, será nessa zona que deverão ser colhidas as amostras parciais. Em amendoais em que a fertilização é feita com distribuidores centrífugos de adubos por todo o terreno, as amostras podem ser colhidas no limite exterior de projeção da copa das árvores marcadas.

A profundidade de colheita deve estar relacionada com a profundidade ocupada pela maior densidade radicular. Jones (2012) recomenda que a profundidade de recolha das amostras tenha em conta o local onde se encontra cerca de 75 % do sistema

radicular. James e Wells (1990) consideram que a profundidade de colheita das amostras se deve restringir à camada arável (17 a 20 cm), considerando ser essa a profundidade onde são incorporados os fertilizantes. Ainda de acordo com estes autores, a recolha de amostras a maior profundidade depende sobretudo da textura do solo. Solos de textura mais ligeira, de maior permeabilidade, devem ser amostrados a maior profundidade. Quando se trate de solos sujeitos a mobilização mínima ou não mobilização, a profundidade de recolha das amostras poderá mesmo ser inferior a 17 cm. Em Portugal, a norma geral para a Produção Integrada recomenda a colheita de amostras de solos para culturas arbóreas e arbustivas até 50 cm. Considerando que muitos dos amendoais se encontram em solos de encosta e meia encosta, nem sempre será possível atingir esta profundidade, devendo a colheita ser efetuada nos 20 a 30 cm superficiais, até se atingir a rocha mãe. De qualquer forma, James e Wells (1990) referem que a recolha de amostras até 15-20 cm de profundidade é suficiente para monitorizar o movimento dos nutrientes em profundidade e avaliar o seu grau de estratificação.

Adicionalmente deverá ser fornecida ao laboratório toda a informação considerada relevante sobre a parcela e sobre a cultura, normalmente prevista em impresso próprio fornecido pelo laboratório. Para além da identificação da parcela e do proprietário, será útil fornecer informação sobre a idade do pomar, produção esperada, fertilizações normalmente efetuadas e problemas particulares da parcela.

Relativamente à época mais indicada para a recolha das amostras, e uma vez que o solo tem uma dinâmica de alterações própria, variável com as condições ambientais (temperatura do solo, humidade, ritmo de absorção pelas plantas...), as amostras devem ser colhidas sempre na mesma altura do ano (Mills e Jones, 1996), de preferência numa altura em que seja possível obter os resultados do laboratório em tempo útil para a realização da fertilização no início da estação de crescimento.

Quanto à periodicidade de análise dos solos, e de acordo com as normas da Produção Integrada de culturas arbóreas e arbustivas em vigor em Portugal, esta deve realizar-se antes da instalação da cultura (ou no ano de adesão ao modo de Produção Integrada). Nessa data deve solicitar-se a análise aos seguintes parâmetros: análise granulométrica; pH (H₂O); calcário total e calcário ativo, se a pesquisa de carbonatos for positiva; necessidade em calcário, se necessário; matéria orgânica; fósforo e potássio extraíveis; capacidade de troca catiónica; e os micronutrientes extraíveis magnésio, ferro, manganês, zinco, cobre e boro. Se as parcelas forem ou foram regadas, deve ainda solicitar-se a análise à condutividade elétrica do solo. Um ano após a instalação da cultura (ou um ano após a adesão ao modo de Produção Integrada) deve efetuar-se nova análise solicitando os parâmetros já referidos, à exceção do calcário total e ativo e da capacidade de troca catiónica. A amostra para determinação da condutividade elétrica deve ser recolhida junto ao ponto de rega, quando existe fertirrega. Depois destes procedimentos é obrigatório repetir a

análise dos parâmetros anteriores de quatro em quatro anos (DGADR, 2016).

7.3.2. Análise de tecidos vegetais

A análise dos tecidos vegetais tem como objetivo principal avaliar o estado nutricional atual das plantas através da concentração de nutrientes em tecidos específicos. A análise de tecidos vegetais é um método de diagnóstico do estado nutricional das árvores conceituado, na medida em que se aceita que a concentração de um nutriente na planta ou num tecido específico integra, para além da disponibilidade de nutrientes no solo, todos os fatores que afetam o crescimento das plantas. Assim, a composição mineral dos tecidos depende da disponibilidade de nutrientes no solo, mas também da idade dos tecidos, posição destes na planta e das condições ambientais prevalecentes (Munson e Nelson, 1990). É a partir dos resultados da análise de tecidos que se pode confirmar um sintoma visual de deficiência ou de toxicidade que tenha sido detetado ou, ainda mais importante, identificar problemas potenciais que ainda não se manifestaram externamente na árvore, permitindo uma intervenção em tempo útil na sua resolução.

Na amendoeira, o tecido normalmente utilizado para avaliar o estado nutricional são as folhas. Relativamente à *técnica de amostragem das folhas* é necessário ter em conta que a concentração de nutrientes varia com a sua idade e com a posição

na copa. Estes aspetos, se não forem respeitados na colheita das amostras, podem causar dificuldades na interpretação dos resultados. Assim, o estabelecimento de algumas normas e o cumprimento das mesmas é um princípio básico sem o qual será difícil a interpretação dos resultados analíticos. De seguida apresentam-se alguns aspetos a ter em conta na colheita de tecidos vegetais em amendoal.

Data de amostragem – Em amendoal a época considerada mais adequada para a colheita de folhas e para a qual existem padrões para interpretação dos resultados é o final do mês de julho, início do mês de agosto (Mills and Jones, 1996, LQARS, 2006). No entanto, amostrando nesta data, os resultados analíticos podem já não permitir uma intervenção atempada no ano em curso. Para ultrapassar esta dificuldade, alguns investigadores têm proposto a colheita de folhas para o mês de abril (Saa *et al.*, 2012; 2014). Desta forma, os resultados podem ainda ser usados para fazer ajustes de fertilização durante a estação de crescimento em curso. Por outro lado, nesta data as folhas refletem já a fertilidade do solo e a forma como os nutrientes estão a ser absorvidos. A Universidade da Califórnia (Davis) tem um modelo deste género implementado para o amendoal da Califórnia (Saa *et al.*, 2012). Em Portugal, este procedimento ainda não foi calibrado, pelo que se recomenda o respeito pelas datas oficiais de recolha de amostras, para as quais existe interpretação dos resultados analíticos (Quadro 7.1).

Árvores e folhas a amostrar – A amostra de folhas que chega ao laboratório deve representar o melhor possível o estado nutricional do pomar. Como já se referiu para a amostragem ao solo recomenda-se a marcação de 15 árvores com aspeto representativo do pomar. Na marcação das árvores devem evitar-se aquelas que estão situadas nas bordaduras da parcela. Nas árvores marcadas devem colher-se cerca de 6 a 10 folhas situadas no terço médio de um ramo do ano não produtivo, distribuídas por todos os quadrantes da árvore. No total, a amostra de folhas de um pomar deverá ser constituída por cerca de 100 folhas. Devem evitar-se folhas do interior da copa, com menor exposição à luz, folhas danificadas por insetos ou por doenças e deve evitar-se a colheita de folhas após a aplicação de caldas foliares (Jones, 2012).

Entrega das amostras no laboratório – As amostras devem entrar no laboratório devidamente identificadas, se possível nas 24 horas que se seguem à colheita. De acordo com as normas da produção integrada, deve solicitar-se anualmente uma análise completa que inclui os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Zn e Mn. Se durante cinco anos os valores analíticos se encontrarem dentro dos intervalos de suficiência, as análises podem ser pedidas com periodicidade bianual (DGADR, 2016).

Para cada nutriente está estabelecido um intervalo de concentrações nas folhas ao qual corresponderá um desenvolvimento adequado das plantas. Abaixo desse intervalo há fortes possibilidades de se desenvolverem sintomas de deficiência

e acima dele é possível que ocorram fenómenos de toxicidade. No Quadro 7.1 são apresentados valores de referência da concentração de nutrientes em folhas da amendoeira apresentados por vários autores.

Embora as análises laboratoriais de tecidos vegetais clássicas se mantenham como a forma mais comum de avaliar o estado nutritivo das árvores, é possível introduzir outras técnicas de diagnóstico que auxiliem na monitorização do estado nutritivo do pomar. Existem no mercado diversos equipamentos portáteis que fornecem indicação da intensidade da cor verde das folhas e indiretamente do estado nutricional das árvores (Figuras 7.1 e 7.2). Dada a grande dinâmica do azoto no solo e nas plantas e pelo facto da sua concentração nos tecidos estar relacionada com a intensidade da cor verde das plantas, este tipo de equipamento tem sido sobretudo utilizado no diagnóstico do estado nutritivo azotado. Estes equipamentos foram testados em diversas culturas com resultados satisfatórios (Rodrigues, 2004; Piekielek *et al.*, 1995; Afonso *et al.*, 2016). No entanto, o seu uso não se tem generalizado entre os produtores.

Quadro 7.1 – Intervalo de concentrações adequada para diversos nutrientes nas folhas de amendoeira propostos por vários autores

Nutriente	LQARS (2006)	Brown e Uriu (1996)	Mills e Jones (1996)
Azoto (%)	2,2-2,5	2,0-2,5	2,2-2,5
Fósforo (%)	0,1-0,3	0,1-0,3	0,1-0,3
Potássio (%)	>1,4	1,4-2,0	1,0-1,4
Cálcio (%)	>2,0	2,0-4,0	2,0-3,0
Magnésio (%)	>0,25	0,6-1,2	0,25-0,75
Cobre (mg kg ⁻¹)	>4	6-10	4-20
Ferro (mg kg ⁻¹)	-----	-----	30-250
Zinco (mg kg ⁻¹)	>18	15-20	18-75
Manganês (mg kg ⁻¹)	>20	30-80	20-100
Boro (mg kg ⁻¹)	30-60	80-150	30-60

As principais limitações são o facto de só permitirem monitorizar alguns nutrientes e em situações de carência (e não de excesso), serem equipamentos tendencialmente caros e não haver ainda normas de interpretação de resultados para a generalidade das culturas, na qual se inclui a amendoeira.



Figura 7.1 – Medidor de clorofila SPAD-502 Plus que estima o teor de clorofila nas folhas medindo a transmitância da luz através da folha em dois comprimentos de onda, 650 nm (luz vermelha absorvida pela clorofila) e 940 nm (luz infravermelha não absorvida pela clorofila)



Figura 7.2 – Medidor FieldScout CM1000 NDVI que avalia a luz ambiente e a luz refletida pela planta em diferentes comprimentos de onda, fornecendo o índice de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), relacionável com o estado geral das plantas

7.4. Fertilização do amendoal

Por fertilização é habitual entender-se a prática de aplicação de corretivos e/ou adubos ao solo e/ou diretamente às plantas em caldas foliares. Com o uso de corretivos pretende-se corrigir propriedades físicas, químicas e/ou biológicas do solo que reduzam a biodisponibilidade dos nutrientes e/ou dificultem o normal desenvolvimento das plantas. Com os adubos pretende-se sobretudo fornecer às plantas nutrientes que não se encontrem no solo em quantidades adequadas (Santos, 2015).

A fertilização do amendoal deve estar baseada no conhecimento prévio do nível de fertilidade do solo e do estado nutricional das árvores. Os resultados analíticos da análise de solos e folhas fornecem informação sobre a necessidade de aplicar corretivos minerais e/ou orgânicos e adubos, bem como sobre as

quantidades a aplicar. A fertilização deve permitir maximizar o potencial produtivo da cultura, contribuir para a diminuição de fenómenos de alternância da produção e assegurar a perenidade da árvore (Grassely e Duval, 1997). Nas culturas arbustivas e arbóreas em geral, e na amendoeira em particular, interessa estabelecer uma estratégia de fertilização para a fase de instalação da cultura e outra a implementar durante a fase de plena produção.

7.4.1. Fertilização à instalação e em amendoal jovem

Na instalação do amendoal deve proceder-se à aplicação de *corretivos minerais* alcalinizantes sempre que os resultados da análise de terras o aconselhem. A amendoeira é uma cultura com elevada capacidade de se adaptar ao pH do solo, podendo desenvolver-se adequadamente na gama entre 5,5 a 8,5 (Micke e Kester, 1998). Assim, a preocupação com a aplicação de corretivos minerais está sobretudo orientada para solos ácidos ou muito ácidos ($\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})} < 5,5$). A acidez do solo afeta, de forma significativa, a produtividade devido à reduzida disponibilidade de nutrientes como o cálcio e o magnésio e à presença provável de quantidades excessivas de alumínio e/ou manganês na forma iónica, disponíveis para absorção pelas plantas. O excesso destes nutrientes afeta o desenvolvimento radicular, limitando o acesso das raízes a água e nutrientes. A reduzida disponibilidade de fósforo neste tipo de solos pode também ser um problema e

acontece devido à reação do fósforo com cátions dominantes nos solos ácidos, como alumínio, ferro e manganês, dando origem a precipitados.

Em geral, a acidez do solo é corrigida recorrendo à aplicação de calcários. Em solos de pH ácido pode também ocorrer deficiência de magnésio. Assim, sempre que possível deve optar-se pela aplicação de calcários magnesianos. A aplicação de um calcário calcítico pobre em magnésio pode dificultar a absorção deste por antagonismo iónico. Em resultado da aplicação de calcários magnesianos ou dolomíticos aumenta a disponibilidade de cálcio e magnésio. Com a aplicação de calcários aumenta a solubilidade de fósforo e reduz-se o efeito tóxico de cátions acídicos.

A quantidade de calcário a aplicar depende sobretudo do pH, mas também do teor em matéria orgânica e da textura do solo. Quanto mais elevado for o teor de matéria orgânica e quanto mais argilosa for a textura, maior será a capacidade de troca catiónica do solo e, por consequência, maior será a quantidade de calcário a aplicar para neutralizar os cátions de natureza ácida associados às cargas negativas do solo (Havlin *et al.*, 2014).

Na aquisição dos calcários, os principais fatores a ter em conta são o conteúdo em magnésio, como já foi explicado, o valor neutralizante e a granulometria. O valor neutralizante exprime o equivalente em CaCO_3 do produto ou o valor do calcário. Um calcário que tenha um valor neutralizante de 90 significa que cada 100 kg do produto tem o equivalente a 90 kg de CaCO_3 . Se um produto concorrente tiver um valor neutralizante de 85, terá um

efeito equivalente a 85 kg de CaCO_3 por cada 100 kg de produto, sendo por isso menos eficaz na redução da acidez para a mesma quantidade de produto aplicado. Os calcários são substâncias pouco solúveis em água. Quanto maior for o diâmetro das partículas menor será a sua reatividade, sendo a ação sobre o pH do solo mais lenta (Havlin *et al.*, 2014). No mercado existem calcários granulados e em pó. Quando se pretende uma ação rápida do calcário na correção da acidez do solo a opção por produtos de formulação em pó pode ser vantajosa. Os granulados, por outro lado, são mais cómodos de aplicar. A estes aspetos acresce o fator preço, normalmente mais elevado nos calcários granulados. Todos estes aspetos devem ser tidos em conta no momento da aquisição dos calcários.

Na instalação de pomares como o amendoal é frequente equacionar-se a opção de usar corretivos orgânicos. O território Nacional, sobretudo o interior, tem tendência a dar força a esta opção porque genericamente os solos têm teores de matéria orgânica baixos, sobretudo quando as parcelas têm algum declive e texturas francas a franco-arenosas. É também argumento a favor do uso de corretivos orgânicos o facto da matéria orgânica no solo ter efeitos benéficos nas propriedades físicas, químicas e biológicas (Macci *et al.*, 2012). Genericamente, a matéria orgânica melhora a capacidade de armazenamento de água, a drenagem do solo, o arejamento, liberta nutrientes e aumenta a atividade biológica com efeitos potencialmente benéficos em aspetos diversos da fertilidade do solo. Contudo, é irrealista admitir-se que

a aplicação de matéria orgânica antes da instalação do pomar pode dar algum contributo significativo no incremento do teor de matéria orgânica do solo. Se um material orgânico estiver disponível a preço acessível, pode dar-se preferência à aplicação localizada junto aos locais onde se irão colocar as plantas. No entanto, a localização não deve ser excessiva e o corretivo deve ser misturado adequadamente no solo. Em plantações manuais o fertilizante não deve ser colocado em camadas no fundo ou junto às paredes das covas de plantação. De qualquer forma, os fertilizantes orgânicos devem ser sempre incorporados.

É ainda frequente recomendar-se a aplicação de quantidades elevadas de fósforo à plantação sempre que as análises de solos revelem valores baixos do nutriente. A ideia é constituir um reservatório de fósforo no solo que fique disponível para vários anos. Contudo, atendendo ao preço elevado dos fertilizantes, ao elevado número de mecanismos de imobilização do nutriente no solo, à reduzida exportação do nutriente pela planta e à falta de estudos que comprovem as vantagens desta estratégia de fertilização, recomenda-se muita moderação com os custos despendidos. De uma maneira geral, a eficiência de uso dos nutrientes aumenta sempre que se aplicam próximos de momentos de elevada absorção radicular.

Nos anos imediatos a seguir à plantação, as jovens árvores exploram um reduzido volume de solo, sendo difícil estabelecer uma estratégia de adubação ao solo. Nos primeiros anos, as estratégias de fertilização ao solo devem ser conservadas

(aplicação reduzida de fertilizantes) e complementadas com estratégias de adubação foliar, sobretudo se não está instalado um sistema de fertirrigação, para assegurar melhor acesso das raízes plantas aos nutrientes de que necessitam. Os custos da operação são mínimos já que se gasta pouca calda devido à reduzida área foliar das plantas.

Enquanto as plantas são jovens, o boro deve justificar atenção especial. É frequente surgirem sintomas de carência de boro pouco tempo após a plantação. A carência de boro danifica os ápices em crescimento e as plantas não crescem em altura, ramificando abundantemente a partir da base. Por outro lado, é um elemento particularmente tóxico para as plantas quando em excesso. Assim, em plantações muito jovens deve evitar-se aplicar boro ao solo na forma de adubos concentrados em boro. Alternativamente devem ser aplicados adubos compostos que contenham boro em baixa concentração ou preferencialmente adubos foliares que contenham o elemento. Esta estratégia visa apenas reduzir o risco de dano na planta enquanto jovem, já que como se referirá à frente, em árvores adultas a aplicação ao solo tende a ser a mais recomendável.

7.4.2. Fertilização em amendoal adulto

A fertilização é uma prática cultural que deve ser efetuada anualmente. O sistema solo/planta perde regularmente nutrientes, sobretudo exportados na amêndoa e na lenha de poda. Quando

as árvores são ainda jovens e estão em crescimento é necessário repor também os nutrientes que ficam retidos na estrutura perene da planta. A água da chuva arrasta anualmente nutrientes em quantidades que podem ser significativas, quer dissolvidos na água, fenómeno conhecido por lixiviação, quer arrastados no solo que se perde por erosão. Acresce que a natureza não tem mecanismos próprios de recuperação rápida da fertilidade do solo. Para manter o solo produtivo é necessário adicionar fertilizantes para repor os nutrientes que anualmente se perdem.

A quantidade de nutrientes a repor pelos fertilizantes pode ser muito variável dependendo da idade do pomar e, em amendoeais adultos, da quantidade de amêndoa produzida. Em anos de produção elevada a exportação de nutrientes aumenta, sendo necessário reequilibrar o estado nutritivo da árvore. A manutenção do solo num bom nível de fertilidade é decisiva para evitar quebras de produção por falta de disponibilidade de nutrientes.

Na prática da adubação interessa ainda considerar a dose, a data de aplicação dos fertilizantes, a localização de fertilizantes e as diferentes opções de fornecimento de nutrientes às plantas por aplicação ao solo, por via foliar ou fertirrega.

7.4.2.1. Estabelecimento da dose

A quantidade de fertilizante a aplicar é um dos aspetos mais importantes dos sistemas de recomendação de fertilização. Doses insuficientes podem reduzir o crescimento e a produtividade das

árvores. Adubação em excesso pode reduzir a produtividade, aumenta a estrutura de custos e causa danos ambientais não negligenciáveis. No entanto, a definição da dose de fertilizante a aplicar em um dado contexto agroecológico não é fácil de estabelecer. Nem as análises de solos nem as análises de plantas fornecem informação suficiente para quantificar os nutrientes a aplicar.

Em fruticultura, a dose de fertilizante a aplicar tende a estar baseada no balanço anual de nutrientes no sistema solo/planta. Deve ter-se conhecimento sobre as saídas anuais de nutrientes e das entradas por processos naturais para se poder estimar a quantidade a suplementar com a adição de fertilizantes. O sistema perde nutrientes sobretudo via remoção nos frutos. Ainda que com menor significado podem também ser perdidos nutrientes na lenha de poda e imobilizados na estrutura perene das árvores enquanto estão em crescimento. O sistema perde ainda nutrientes devido a ineficiências diversas, associadas à erosão do solo, lixiviação e/ou volatilização de nutrientes. As entradas naturais podem dever-se a deposições atmosféricas húmidas e secas, água de rega e eventualmente à presença de leguminosas nos cobertos vegetais que fixem azoto atmosférico (ver capítulo 4).

Contudo, em amendoal adulto em plena produção o principal elemento a ter em conta na quantificação da dose a aplicar é a remoção de nutrientes nos frutos (Jackson, 2011; Saa et al., 2012; Arquero et al., 2013). No quadro 7.2 apresentam-se estimativas de dois autores para a remoção de nutrientes na colheita. O elemento

mais importante no sistema de recomendação de fertilização é, assim, a produção esperada. O laboratório pode ajustar valores em função da informação que tiver do pomar e da região (estado nutricional das árvores, aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais nos anos anteriores, fertilidade do solo, ...).

Quadro 7.2 – Exportação de macronutrientes na colheita em amendoal

Nutriente	Arquero et al. (2013)	Muhammad et al. (2015)*
	(kg/ton amêndoa)	(kg/ha)
Azoto	10 – 20	212 – 366
Fósforo	1,5 – 2,5	26 – 45
Potássio	13 – 15	265 – 389
Cálcio (%)	1,5 – 2,5	24,7 – 29,6
Magnésio (%)	0,8 – 1,0	15,9 – 22,6

*Média de quatro anos de um pomar de regadio com produções a variar entre 10 a 16 ton/ha.

7.4.2.2. Momento da aplicação

A data de aplicação de fertilizantes deve permitir que os nutrientes estejam disponíveis no solo quando é elevada a absorção radicular, que normalmente coincide com períodos de elevada atividade biológica das plantas e elevada demanda de nutrientes pelas partes em crescimento. Contudo, por questões práticas, relacionadas com o regime pluviométrico da região mediterrânica, em amendoal tradicional, mantido e, sequeiro ou em regadio sem

fertirrigação, a aplicação de fertilizantes ao solo restringe-se ao fim do Inverno e início da Primavera.

A data de aplicação dos fertilizantes decide-se em função dos elementos móveis no solo como o azoto e o boro. Tendo em conta que a máxima demanda de nutrientes ocorre a partir de abril, e que estes nutrientes correm riscos elevados de lixiviação se ocorrer excesso de precipitação após a aplicação, deve ter-se como referência a aplicação dos fertilizantes para o fim do mês de março. Em situações particulares, como solos muito arenosos, pode prever-se o fracionamento da aplicação em duas doses para o mês de março e o fim do mês de abril. Se a Primavera decorre muito húmida, com boas condições para o crescimento das árvores, mas também para a lixiviação de nutrientes, pode fazer-se uma segunda aplicação no fim do mês de abril.

A data de aplicação de fósforo e potássio é menos importante. Usando adubos compostos devem respeitar-se as recomendações seguidas para os elementos móveis no solo. Se forem aplicados adubos simples contendo fósforo ou potássio, podem aplicar-se mais cedo, uma vez que o risco de lixiviação é mais reduzido. Se forem aplicados calcários durante a idade adulta do pomar estes poderão também ser aplicados bastante mais cedo, se possível desde o outono. É necessário ter em conta que os calcários devem ser incorporados no solo, devendo ser aplicados durante o repouso vegetativo para reduzir o stresse provocado nas árvores com a destruição de algumas raízes.

Se forem aplicados corretivos orgânicos, eles devem ser aplicados mais cedo que os fertilizantes minerais que contêm elementos móveis. O mês de fevereiro pode ser uma boa referência para produtos bem compostos e de razão carbono/azoto equilibrada. Se forem materiais grosseiros de pior qualidade devem aplicar-se ainda mais cedo. É necessário ter em conta que os fertilizantes orgânicos devem ser incorporados, pelo que a aplicação deve ser feita num período em que não haja humidade excessiva no solo. A amendoeira faz a floração no fim do inverno antes de surgirem as folhas. Isto significa que todos os fotoassimilados necessários à floração se encontram armazenados nas partes perenes desde a estação de crescimento do ano anterior. Assim, a fase que vai da colheita à senescência das folhas no outono pode ter particular importância no ciclo produtivo desta espécie. Para estimular a planta a incrementar o processo fotossintético pode ser interessante aplicar uma pequena dose de fertilizante no fim do verão para ajudar a planta a repor os fotoassimilados na parte perene (Saa et al, 2012). Esta estratégia deve ser seguida com moderação pois segue-se o inverno onde os nutrientes não absorvidos pelas plantas podem ser lixiviados. Em sequeiro é também difícil de implementar. Se o início de outono decorrer húmido pode aplicar-se uma pequena quantidade de fertilizante ao solo. Em alternativa pode aplicar-se uma calda com adubação foliar.

Em amendoais de regadio com sistema de fertirrigação instalado os fertilizantes podem ser gradualmente ministrados ao longo da

estação de crescimento, dissolvidos na água de rega. A periodicidade de aplicação deve acompanhar quase todo o período de rega para evitar problemas de salinidade e para manter níveis regulares de nutrientes no solo (Arquero e Serrano, 2013).

7.4.2.3. Localização dos fertilizantes

Na aplicação de fertilizantes ao solo é prática habitual efetuar-se localização. Os fertilizantes podem ser distribuídos por todo o terreno, aplicados de forma localizada debaixo da copa das árvores ou na linha de plantação. A opção por cada um dos métodos depende de vários fatores, como a quantidade de fertilizante a aplicar, o sistema de manutenção do solo, a área das explorações e as condições técnicas de aplicação (Jones, 2012). A distribuição homogênea por todo o terreno é uma técnica utilizada para aplicar corretivos minerais como os calcários devido à grande quantidade de fertilizante a distribuir e à conveniência de alterar as características do solo em toda a área. Utilizam-se distribuidores centrífugos de adubos. A distribuição dos adubos por toda a área é menos frequente. Em teoria, a distribuição de adubos por todo o terreno estimula a expansão do sistema radicular, aspeto benéfico na capacidade de absorção de água e de outros nutrientes naturalmente disponíveis no solo.

A aplicação localizada de fertilizantes na área de projeção da copa ou na linha de plantação é feita de uma forma genérica em explorações que aplicam adubos ao solo. Pode ter-se como

critério aplicar o adubo na zona onde se aplica o herbicida para reduzir a competição pela vegetação herbácea (Jackson, 2011). Em explorações de menor dimensão, que podem suportar os custos da operação, faz-se de forma manual. Algumas explorações adaptam distribuidores centrífugos para aplicar fertilizantes ao solo localizados na linha de plantação.

Do ponto de vista técnico, a localização pode aumentar a eficiência de uso dos nutrientes. No caso dos elementos mais móveis como azoto e boro, a localização dos nutrientes numa zona de maior densidade radicular aumenta a oportunidade de absorção radicular e reduz a concorrência das infestantes pelo fertilizante. No caso dos elementos menos móveis no solo como o fósforo, a localização pode melhorar a eficiência de uso do nutriente através da saturação dos mecanismos de imobilização do nutriente, devido ao aumento da quantidade de fertilizante aplicado na unidade de área (Jones, 2012; Havlin *et al.*, 2014).

De qualquer forma, os aspetos técnicos da aplicação dos fertilizantes no amendoal estão pouco estudados. A partir da informação disponível recomenda-se que sempre que se faça aplicação manual se distribuam os adubos de forma homogénea na zona de projeção da copa ou na linha de plantação. Deve evitar-se a aplicação muito concentrada junto ao tronco. Nesta zona há poucas raízes finas, ativas, sendo baixa a oportunidade de absorção radicular e por outro lado pode aumentar a condutividade elétrica devido ao efeito salino e surgirem problemas de fitotoxicidade. O boro, apesar de ser um micronutriente, é

frequentemente aplicado na forma de adubo simples. Nesta situação deve seguir-se a mesma regra de aplicação.

7.4.2.4. Adubação foliar

A adubação foliar baseia-se na capacidade das folhas em absorver nutrientes de forma rápida e efetiva. No entanto, a base da fertilização de um pomar deve ser feita a partir da aplicação dos fertilizantes ao solo. A adubação ao solo estimula o desenvolvimento do sistema radicular e os fertilizantes tendem a ser mais baratos. A adubação foliar não permite aplicar quantidades satisfatórias de macronutrientes, devendo ser vista como um complemento à adubação ao solo e não como uma alternativa. A adubação foliar ganha importância em amendoeais de regadio, onde o potencial ecológico para a produção de amêndoa é elevado. Uma carga elevada de frutos em um dado ano tende a reduzir a disponibilidade de fotoassimilados para crescimento vegetativo e comprometer a produtividade do ano seguinte. Nesta situação, a adubação foliar pode assegurar melhores condições fotossintéticas às plantas aumentando a disponibilidade de fotoassimilados.

Os nutrientes aplicados por via foliar têm efeito mais rápido na vegetação. Em situações de carência nutricional comprovada durante a estação de crescimento, a adubação foliar deve ser equacionada. As caldas devem ser aplicadas de acordo com as recomendações previstas no rótulo dos produtos. Os riscos de

toxicidade e danos nas árvores são elevados, sobretudo quando se preparam caldas excessivamente concentradas. Na aplicação de caldas foliares deve ter-se em atenção as previsões meteorológicas para evitar que a água da chuva arraste os fertilizantes antes de serem absorvidos. Durante o Verão, em que a humidade atmosférica é baixa durante o dia, deve equacionar-se a aplicação das caldas foliares à noite para melhorar a eficiência de absorção dos nutrientes (Fernández-Escobar, 2008). Em amendoal de sequeiro, em que o potencial de produção é baixo, e o preço dos fertilizantes tem peso significativo na estrutura dos custos, será mais difícil encontrar justificação técnica para a aplicação de adubos foliares. Contudo, durante a fase de crescimento dos frutos, as plantas têm elevadas necessidades em potássio. Em sequeiro, e em anos particularmente secos, a planta pode ter dificuldade em obter potássio devido à extrema desidratação do solo. Nestas condições, aplicações foliares ricas em potássio podem fornecer o nutriente de forma mais efetiva que a aplicação ao solo. Em sequeiro pode também preconizar-se a aplicação de nutrientes por via foliar logo após a colheita do fruto com as folhas ainda em bom estado. Já foi anteriormente referida a importância da remobilização de fotoassimilados para a estrutura perene no fim do verão, uma vez que a floração na primavera seguinte vai depender das reservas armazenadas na planta (Nyomora e Brown, 1999). Um dos elementos cuja aplicação por via foliar mais se tem recomendado é o boro, sobretudo antes da floração, mas também durante a estação de crescimento incluindo

a fase final do ciclo (Nyomora e Brown, 1999). Contudo, está devidamente estabelecido que as aplicações foliares de boro são pouco eficientes, quer em plantas que apresentem baixa ou moderada mobilidade de boro nos tecidos, sobretudo quando já há sintomas visíveis de deficiência e tecidos danificados. A aplicação de boro é sempre mais eficiente quando efetuada ao solo (Wimmer e Eichert, 2013).

7.4.2.5. Fertirrigação

A fertirrigação consiste na aplicação de nutrientes na forma de sais fertilizantes na água de rega. Do ponto de vista teórico parece ser o método de fertilização ideal, uma vez que combina localização na rizosfera, com fracionamento múltiplo. A localização na rizosfera, coincidente com o bolbo de humedecimento, coloca os nutrientes numa zona de elevada densidade radicular, melhorando a oportunidade de absorção. A colocação do fertilizante em profundidade também reduz as perdas de nutrientes por volatilização, fenómeno que pode ser relevante na aplicação de adubos amoniacais e ureicos à superfície em solos de pH elevado. O fracionamento, isto é, a possibilidade de aplicações múltiplas ao longo do tempo (no limite diariamente, ou sempre que se efetua uma rega), permite aplicar os fertilizantes ajustados temporalmente às necessidades das plantas e inclusive variar os nutrientes a aplicar em função de necessidades específicas da planta de um dado estado fenológico. O potássio, por exemplo, é

um elemento para o qual existe uma elevada demanda associada ao engrossamento dos frutos. O azoto é utilizado em elevada quantidade em fases de grande expansão vegetativa da planta. Localização e fracionamento múltiplo contribuem de forma significativa para o aumento da eficiência de uso dos nutrientes, redução dos custos e de contaminação ambiental (Jackson, 2011; Arquero e Serrano, 2013). A fertirrigação complementada com análises foliares regulares permite manter sempre em níveis adequados o estado nutricional das árvores.

A fertirrega pode originar problemas de salinização localizada do solo, com efeitos potencialmente negativos nas árvores, atendendo à elevada quantidade de água e sais fertilizantes que se usam durante a estação de crescimento e ao reduzido volume de solo humedecido. Por vezes forma-se uma barreira salina na extremidade do bolbo de humedecimento, que impede a expansão do sistema radicular (Troncoso et al., 2008). Este problema tende a ser tanto mais importante quanto maior o conteúdo em sais na água de rega. A qualidade de água de rega deve ser conhecida, designadamente o seu conteúdo em sais, para ser tida em conta na quantidade de solução-padrão a injetar no sistema de rega. Em regiões de precipitação significativa, em que o balanço hidrológico permita a remoção do excesso de sais durante o inverno, o sistema tende a manter-se sem riscos de toxicidade para as árvores.

O sistema de fertirrega deve ser operado para que a solução-padrão seja injetada na fase central da rega, e não no início e no

fim do período de rega, sobretudo para melhorar a distribuição dos nutrientes no bolbo de humedecimento e evitar que fiquem restos de sais fertilizantes na tubagem de rega. É também normal e desejável não aplicar fertilizantes em todas as regas para assegurar uma melhor limpeza do sistema. Injetar solução-padrão uma vez por semana, na fase mais ativa de crescimento das plantas, pode ser ajustado para otimizar a eficiência do sistema de rega e do uso dos nutrientes pelas plantas (Troncoso *et al.*, 2008).

7.5. Referências Bibliográficas

Afonso, S.; Arrobas, M.; Pinheiro, C.; Ferreira, I.Q. e Rodrigues, M.A. (2016). Potencialidade e limitações da utilização de aparelhos portáteis na avaliação do estado nutricional das plantas. p. 92-98. *Actas Portuguesas de Horticultura* (IV Colóquio Nacional de Horticultura Biológica), 17-19 de março, Faro.

Alloway, B. J. (2008). Micronutrients and crop production: An Introduction. in: Alloway, B.J. (Ed.), *Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production*. United Kingdom, Springer.

Arquero, O., Serrano, N., 2013. *Manejo del suelo*, in: Arquero, O. (Ed.), *Manual del Cultivo del Almendro*. España, Sevilla, Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural,

Basile, B.; Reidel E.J; Weinbaum S.A, e DeJong, T.M. (2003). Leaf potassium concentration, CO₂ exchange and light interception in almond trees (*Prunus dulcis* (Mill) D.A. Webb). *Scientia Horticulturae*, 98: 185-194

Bhadoria, P. S.; Steingrobe, B.; Claassen, N. e Liebersbach, H. (2002). Phosphorus efficiency of wheat and sugar beet seedlings grown in soils with mainly calcium, or iron and aluminium phosphate. *Plant Soil*, 246: 41–52.

Broadley, M.; Brown, P.; Cakmak, I.; Rengel, Z. e Zhao, F. (2012). *Function of Nutrients: Micronutrients*, in: Marshner, P., (Ed) *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Elsevier

Brown, P. H. e; Uriu, K. (1996). *Nutrition, Deficiencies and Toxicities: Diagnosing and Correcting Imbalances*, in: Micke, W. C. (Ed.), *Almond production manual*. Vol. 3364. UCANR Publications, pp: 179-188.

DGADR. (2016). *Estrutura da Norma Geral para Produção Integrada*, Direção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural.

Doll, D. (2014). Importance of Hull Sampling for Boron. The almond doctor. University of California Cooperative Extension.

Fernández-Escobar, R. (2008). Fertilización, in: Barranco, D, Fernández-Escobar, R., Rallo, L., (Eds.), *El Cultivo del Olivo*. Madrid, Coedición Mundi-Prensa & Junta de Andalucía.

Grassely, C. e Duval, H. (1997). *L'Amendier. Ctifl*, Centre Technique Interprofessionnel des fruits et légumes, Paris, CTIFL.

Hansen, Kester, D.E. e Uriu, K., 1962. Boron deficiency symptoms identified in almonds. *California Agriculture*. 16: 6-7.

Havlin, J.L.; Tisdale, S.L.; Nelson, W.L., Beaton, J.D., 2014. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. Pearson, Inc.

Jackson, D., (2011). Soils, nutrients and water, in: Jackson, D., Looney, N., Morley-Bunker, M. Thiele, G. (Eds.), *Temperate and Subtropical Fruit Production*, 3rd ed. UK, CAB International, Cambridge University Press.

James, D.W. e Wells, K.L. (1990). Soil sampling collection and Handling: Technique based on source and degree of field variability, in: *Soil Testing and Plant Analysis*. SSSA. Book series nº 3.

Jones, J. Benton Jr. (2012). *Plant Nutrition and Soil Fertility Manual*. 2nd Ed. CRC Press.

LQARS, (2006). Manual de Fertilização das culturas. Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva. Lisboa, MADRP. INIAP.

Macci, C.; Doni, S.; Peruzzi, E.; Masciandaro, G.; Mennone, C. e Ceccanti, B. (2012). Almond tree and organic fertilization for soil quality improvement in southern Italy. *Journal of Environmental Management*, 95: S215eS222

Mia, M.A. B. (2015). *Nutrition of crop plants*. NOVA Publishers. NY.

Micke, W. C. (1996). *Almond production manual*. Vol. 3364. UCANR Publications.

Micke, W.C. e Kester, D.E. (1998). Almond growing in California. *Acta Hort.* 470, 21-28, DOI: 10.17660/ActaHortic.1998.470.1.

Mills, H.A. e Jones, J.B. Jr. (1996). *Plant Analysis Handbook II*. MicroMacro Publishing, Inc. USA.

Monteiro, A.M.; Cordeiro V.P.; Gomes-Laranjo, J (2003). *A amendoeira*. Azevedo, J. V. (Ed.) Mirandela.

Muhammad, S.; Sanden, B.L; Lampinen, B.D.; Saa, S.; Siddiqui, M.I.; Smart, D.R.; Olivos, A.; Shackel, K.A.; DeJong, T., e Brown, P.H. 2015. Seasonal changes in nutrient content and concentrations in a mature deciduous tree species: Studies in almond (*Prunus dulcis* (Mill.) D. A. Webb). *European Journal of Agronomy*, 65: 52–68

Munson, R. D. e Nelson, W.L. (1990). Principles and practices in Plant Analysis, in: Soil Testing and Plant Analysis. SSSA. Book series nº 3.

Nyomora, A.M.S. e Brown, P.H. (1999). Rate and Time of Boron Application Increase Almond Productivity and Tissue Boron Concentration. *Hortscience*, 34(2):242–245.

Osman, K. T. (2013). *Soils. Principles, Properties and Management*. London, Springer.

Piekielek, W.P.; Fox, R.H.; Toth, J.D.e Macneal, K.E. (1995). Use of chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. *Agronomy Journal*, 87: 403–408.

Reidel, E. J.; Brown, P. H.; Duncan, R. A.; Heerema, R. J. e Weinbaum, S. A. (2004). Sensitivity of yield determinants to potassium deficiency in 'Nonpareil' almond (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A.Webb). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79(6): 906-910, DOI: 10.1080/14620316.2004.11511864

Rodrigues, M.A., 2004. Establishment of continuous critical levels for indices of plant and pre sidedress soil N status in the potato crop. Communications in *Soil Science and Plant Analysis*, 35 (13 & 14): 2067-2085.

Saa, S.; Brown, P.H.; Muhammad, S.; Olivos-Del Rio, A.; Sanden, B.L. e Laca, E.A. (2014). Prediction of leaf nitrogen from early season samples and development of field sampling protocols for nitrogen management in Almond (*Prunus dulcis* [Mill.] DAWebb). *Plant Soil*, 380: 153–163.

Saa, S.; Muhammad,S.; Sanden, B.; Laca, E. e Brown, P. (2012). Almond early-season sampling and in-season nitrogen application

maximizes productivity, minimizes loss. California, USA, California Almonds, UC Davis,

Saa, S.; Peach-Fine, E.; Brown, P.; Michailides; T., Castro, S.; Bostock, R. e Laca, E. (2016). Nitrogen increases hull rot and interferes with the hull split phenology in almond (*Prunus dulcis*). *Scientia Horticulturae* 199: 41–48.

Santos, J.Q. (2015). *Fertilização. Fundamentos agroambientais da utilização dos adubos e corretivos*. Porto, Publindústria.

Singer, M. J. e Munns, D. N. (2002). *Soils: An introduction*. New Jersey, Prentice Hall.

Troncoso, A.; Cantos, M.; Liñán, J. e Fernández, J.E. (2008). Fertirrigación, in: Barranco, D, Fernández-Escobar, R., Rallo, L., (Eds.), *El Cultivo del Olivo*. Madrid, Coediciónid Mundi-Prensa & Junta de Andalucía.

Varennnes, A. (2003). *Produtividade dos solos e ambiente*. Escolar Editora, Lisboa.

Wimmer, M. A. e Eichert, T., (2013). Review: Mechanisms for boron deficiency-mediated changes in plant water relations. *Plant Science*, 203–204: 25– 32.

Zarate-Valdez, J. L.; Muhammad, S.; Saa, S.; Lampinen, B. D. e Brown, P. H. (2015). Light interception, leaf nitrogen and yield prediction in almonds: A case study. *European Journal of Agronomy* 66: 1–7.